

УДК 669.35:621.74

*В.В. ДАВЫДОВ, Р.К. МЫСИК, Ю.П. ПОРУЧИКОВ
Б. Е. ХАЙКИН, Л. М. ЖЕЛЕЗНЯК
(Уральский политехнический институт)*

**ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ЛИТЬЯ И ПРОКАТКИ
НА ДЕФОРМИРУЕМОСТЬ СЛИТКОВ
ИЗ МЕДНОКАДМИЕВОГО СПЛАВА**

Кадмиевая бронза БрКд1 — сплав на основе меди, содержащий 0,9... 1,2 % кадмия,—относится к низколегированным безоловянистым бронзам. Пластичность слитков этого сплава недостаточна для горячей прокатки, что приводит к усложнению технологии обработки из-за введения перед прокаткой дополнительной операции прессования.

До последнего времени заготовительное прессование считалось неизбежным, хотя в работе П. И. Градусова [1], относящейся к началу 1930-х годов, сообщалось об успешных промышленных экспериментах по горячей прокатке круглых слитков Ø 115 мм с содержанием кадмия 0,59 ... 2,52 %. П. И. Градусов получал слитки наполнительным литьем в песчаную форму или чугунную изложницу (в тексте публикации тип изложницы не указан). По результатам проведения опытов он сделал вывод о том, что предел прокатываемости вгорячую сплава медь — кадмий практически ограничен содержанием 1,2% кадмия и что рекомендуемая температура нагрева перед прокаткой 780 ... 800 °С.

В конце 40-х — начале 50-х годов на заводах ОЦМ началось широкое внедрение полунепрерывного способа литья многих металлов и сплавов (в том числе и сплава БрКд1) взамен наполнительного с целью улучшения качества слитков и повышения технико-экономических показателей процесса литья. Ожидалось, что внедрение этого способа литья повысит деформируемость слитков при горячей прокатке. Однако опыты по прокатке слитков БрКд1 полунепрерывного литья, проведенные сотрудниками института Гипроцветметобработка (Р. А. Бахтиаровым и др.) совместно с работниками Каменск-Уральского завода ОЦМ, не дали положительного результата: заготовки растрескивались в первых же проходах [2]. Авторы объясни-

ли разрушение отсутствием прочных связей между дендритами вследствие их незначительной разветвленности и наличием межкристаллитных несплошностей усадочного происхождения. Опираясь на такое объяснение, они пытались повысить пластичность за счет оптимизации режимов литья, однако положительных результатов получить не удалось.

Дальнейшее исследование причин растрескивания слитков полунепрерывного литья при горячей прокатке было проделано немецкими специалистами В. Брандштеттером и Г. Рудольфом [3]. Для выявления причин образования трещин были исследованы микроструктура и химическая неоднородность металла в приповерхностной корочке слитка толщиной 0,1 ... 0,2 мм на установке «Камека» и электронном микроскопе при 1000-кратном увеличении. Было установлено, что по границам зерен имеются выделения, представляющие собой эвтектику с высоким содержанием кадмия и температурой плавления 544 °С. Поскольку горячая прокатка слитков производится при 800 ... 850 °С, образование трещин в статье [3] объяснено тем, что границы зерен в зоне литейной корочки оплавляются. Для того чтобы избежать образования эвтектики, авторы предложили либо увеличить скорость охлаждения при литье, подавив тем самым ликвацию кадмия, либо выдерживать слитки при нагреве под прокатку при 800...850 °С минимум 45 мин, совместив тем самым процесс нагрева с гомогенизирующим отжигом. Однако в статье [3] не приведены результаты экспериментальной проверки предложенных рекомендаций.

В монографии [4] представлены данные о пластических свойствах (относительном удлинении и сужении) литого сплава БрКд1 в интервале температур 20 ... 800°С. Они качественно подтверждают выводы работы [3]: при температуре выше 500 °С пластичность сплава резко снижается.

Уже первые эксперименты, выполненные нами по деформируемости литого сплава, показали, что этот сплав следует отнести к группе материалов, особо склонных к разрушению в начальной стадии прокатки. Основанием для такого заключения послужили случаи раскрытия переднего конца полосы с образованием так называемой «крокодиловой пасти» в ходе горячей прокатки с пониженными значениями фактора формы очага деформации при первых проходах в обжимной клетке. Образование «крокодиловой пасти» известно для титановых, а также некоторых других сплавов и служит весомым признаком низкой деформируемости материала.

Структура литого металла оказывает определяющее влияние на деформируемость слитков. В связи с этим было изучено влияние инокуляторов на структуру и деформируемость слитков из сплава БрКд1. Исследование особенностей процесса затвердевания слитков с введением в расплав инокуляторов в количестве 1,2 и 3 % проводилось при заливке сплава в мед-

ную и стальную изложницы с внутренними размерами 30 X X 30 X 150 мм. В качестве инокуляторов применяли медную обсычку различного фракционного состава (200, 630 и 1000 мкм).

Из уравнения теплового баланса [5] для кадмиевой бронзы имеем

$$T_{\text{м}} = \frac{100T_{\text{зал}} - 103n}{100},$$

где $T_{\text{м}}$ — температура расплава после ввода инокуляторов, °С; $T_{\text{зал}}$ — температура заливки металла в изложницу, °С; n — количество введенных инокуляторов, %.

При температуре заливки 1180°С и введении инокуляторов в количестве 1, 2, 3% температура расплава снижается соответственно до 1167, 1154, 1142 °С. Установлено, что ввод 1 % инокуляторов снижает температуру расплава в среднем на 10 . . . 15°С. Анализ термограмм показал, что время затвердевания слитков было наименьшим в случае применения инокуляторов с размером частиц 200 мкм.

Макроструктура контрольного слитка характеризуется наличием трех структурных зон: мелких кристаллов, столбчатых кристаллов и центральной зоны равноосных кристаллов. В опытных слитках зона столбчатых кристаллов присутствует только тогда, когда в расплав введен 1% инокуляторов, и исчезает при 2 и 3% инокуляторов. Исследование микроструктуры опытных и контрольных слитков свидетельствует о том, что во всех случаях сплав имеет дендритный характер кристаллизации.

Параметры структуры слитков

Количество инокулято- ров, %	Размер частиц, мкм	Размер зерна, мм		Размер дендритной ячейки, мкм	
		медная изложница	стальная изложница	медная изложница	стальная изложница
1	200	0,65	0,86	1,40	1,47
2		0,62	0,83	1,40	1,46
3		0,60	0,70	1,31	1,38
1	630	0,70	0,85	1,43	1,50
2		0,64	0,75	1,41	1,49
3		0,62	0,75	1,37	1,42
1	1000	0,68	0,88	1,41	1,49
2		0,65	0,85	1,39	1,43
3		0,61	0,79	1,34	1,40
Контрольный слиток		0,77	0,93	1,49	1,56

На основе статистической обработки макро- и микрокартин определены параметры структуры слитков (см. таблицу).

Анализ показывает, что при суспензионном способе заливки удается значительно измельчить структуру меднокадмиевого сплава. При введении инокуляторов величина зерна оказалась сопоставимой с величиной зерна прессованной заготовки (рис. 1).

Таким образом, выбирая рациональный размер и количество дисперсных инокуляторов, можно снизить негативное влияние масштабного фактора (размера слитка), материала и толщины стенки изложницы на структуру литого металла.

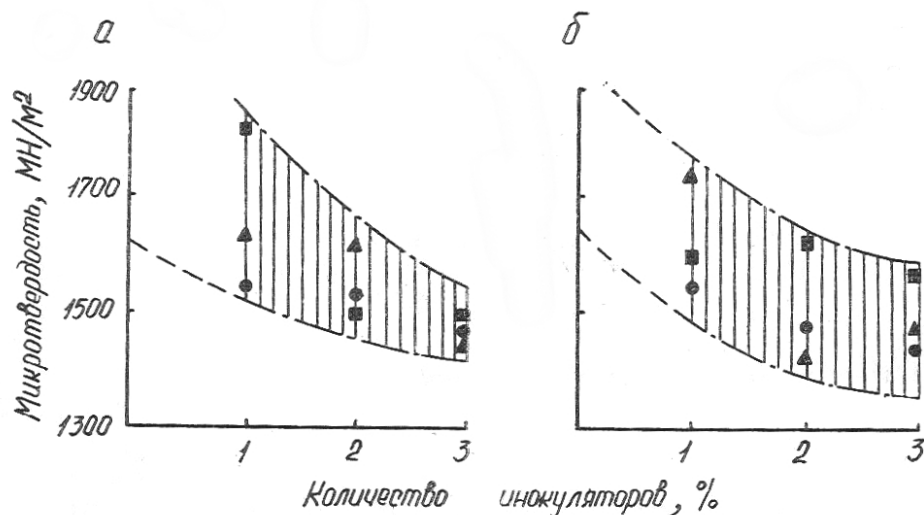


Р и с. 1. Макроструктура слитков и прессованной заготовки из сплава БрКд 1:
а — контрольный слиток; б — с введением 3 % инокуляторов; в — прессованная заготовка

Были проведены сравнительные исследования свойств металла слитков, полученных обычным способом и с введением инокуляторов. Исследования проводились на поперечных и продольных темплатах. Поскольку размер слитков недостаточен для получения стандартных образцов для измерения механических свойств, использовали метод определения предела прочности и предела текучести, предложенный в работе [6]. С помощью замеров микротвердости оценивалась дендритная ликвация сплава. Во всех случаях значения микротвердости в объеме зерна и на его границе различаются, что говорит о наличии ликвации в пределах зерна. Эксперименты свидетельствуют, что чем больше введено инокуляторов, тем меньше степень дендритной ликвации. Снижение перегрева сплава и увеличение скорости охлаждения создают предпосылки для формирования в слитках мелкокристаллической структуры; в результате уменьшаются размеры междендритных пространств и микроучастков, обогащенных ликватом, и происходит более равномерное распределение ликвирующих компонентов по сечению слитка. Введение инокуляторов несколько снижает среднее значение микротвердости (рис. 2).

Анализ механических свойств опытных и контрольных слитков показал, что прочностные и пластические свойства повышаются на 20... 30 % в зависимости от количества введенных

микрохолодильников. Полученные данные позволяют сделать предположение об улучшении деформируемости меднокадмиевого сплава, отлитого с введением инокюляторов.



Р и с. 2. Среднее значение микротвердости контрольных слитков:

а — медная изложница; б — стальная изложница; ● — фракция 200 мкм; ▲ — 630; ■ — 1000

Полученные результаты нашли свое подтверждение при изучении возможности прокатки литой кадмиевой бронзы в слитках с размерами поперечного сечения 30 X 30 в лабораторных условиях, 50 X 50 и 100 X 100 мм — в промышленных. При этом деформируемость слитков оказалась в прямой зависимости от количества введенных в расплав инокюляторов и размера поперечного сечения слитка. Слитки 30 X 30 мм прокатывались без трещин даже при больших разовых обжатиях; слитки сечением 50 X 50 мм также показали высокую деформируемость. Это означает, что применительно к кадмиевой бронзе является перспективным использование совмещенных процессов литья и прокатки на современных литейно-прокатных агрегатах.

Хотя слитки 100 X 100 мм разрушались при прокатке, образцы в виде брусков с поперечным сечением 30 X 30 мм, вырезанные из этих слитков, показали высокую деформируемость при горячей прокатке в случае их омеднения, стеклоэмалирования и при использовании других покрытий — пластификаторов. Было установлено, что деформируемость кадмиевой бронзы ощутимо повышается с понижением температуры прокатки, в том числе и для промышленных слитков 100 X 100 мм.

Дополнительно к указанным выше вариантам представляются перспективными следующие технические решения:

- создание в процессе литья утолщенного периферийного слоя слитка с мелкозернистой структурой и остаточными напряжениями сжатия;

- создание периферийного слоя, обедненного по содержанию кадмием (слиток кадмиевой бронзы в медной оболочке);
- предварительная деформация слитка вхолдную на уровне 5 ... 10% ковкой с большими подачами, обеспечивающая предпрокатное улучшение структуры слитка.

Таким образом, деформируемость литой кадмиевой бронзы существенным образом зависит от масштабного фактора, количества введенных в расплав инокуляторов, и прокатываемость ее сегодня обеспечивается лишь в случаях, когда слитка имеют ниженную площадь поперечного сечения либо разливка осуществляется суспензионным способом.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Градусов П. И.** Обследование сплавов меди с присадкой кадмия //Металлург,— 1932.— № 9.— С. 79... 83.
2. **О характере дефектов** и технологических особенностей непрерывного литья кадмиевой бронзы / Бахтиаров Р. А., Воробьева Л. А., Покровская Г. Н., Краева Т. М. // Цветные металлы.— 1973.— № 11.— С. 65 ... 67.
3. **Brandstätter W., Rudolph G.** Beitrag zur Oberflächenausbildung beim diskontinuierlichen Strangguß von CuCdI – Drahtbarren und ihr Einfluß beim Warmwalzen // Metallkunde. – 1969. —Bd. 60, № 7. — S. 565...570.
4. **Смирягин А. П., Смирягина Н. А., Белова А. В.** Промышленные цветные металлы и сплавы.— М.: Металлургия, 1974.— 488 с.
5. **Затуловский С. С.** Суспензионная разливка.— Киев: Наукова думка, 1984.— 258 с.
6. **Марковец М. П.** Определение механических свойств металлов по твердости.— М.: Машиностроение, 1979.— 191 с.